

**В.О. КУЛІК**, канд. техн. наук, **А.А. САЛЄЙ**, канд. техн. наук,  
**Л.В. ЗАХАРОВА**, канд. техн. наук, **О.О. СІГУНОВ**, канд. техн. наук,  
**Н.П. ПЄСКОВА**, ДВНЗ «УДХТУ», м. Дніпропетровськ

## **ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ДИСПЕРСНОСТІ СИРОВИННОЇ СУМІШІ, ЩО МІСТИТЬ ДОМЕННИЙ ГРАНУЛЬОВАНИЙ ШЛАК, НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА БУДІВЕЛЬНО-ТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ**

Встановлено вплив дисперсності сировинної суміші, що містить у своєму складі доменний гранульований шлак, на мікроструктуру портландцементного клінкеру. Практично доведено, що будівельно-технічні властивості цементу випаленого із сировинної суміші з тониною помелу 16 – 18 мас.% клінкеру не поступається таким продукту виготовленому згідно існуючого технологічного регламенту виробництва.

The influence of a subtlety of crushing of a raw mix is established which contains in the structure slag, on microstructure Portland cement of clinker. Practically is proved, that bilding-technical properties of cement burnt from a raw mix with a subtlety of crushing of 16-18 weights. % of clinker do not concede to those for a product of the manufacture, made according to the existing technological rules.

Можливість випалу портландцементного клінкеру без ускладнень технологічного процесу із грубодисперсної сировинної суміші ( $\Sigma R^{008} = 16 - 18$  мас. %), яка містить в своєму складі доменний гранульований шлак підтверджено дослідженнями [1, 2]. Проведені хімічний, рентгенофазовий аналізи, а також інфрачервона спектроскопія отриманого клінкеру підтвердили практичну його ідентичність за мінералогічним складом із клінкером, виготовленим згідно технологічного регламенту виробництва. Проте відомо, що окрім необхідного складу мінералів, важливими характеристиками клінкеру є їх розміри, характер кристалізації та розподіл по об'єму речовини. Саме ці фактори можуть суттєво впливати на фізико-механічні властивості цементу, особливо на його гідравлічну активність. Тому важливим етапом встановлення можливості отримання якісного портландцементного клінкеру із сировинної суміші з дисперсністю 16 – 18 мас. % залишку на ситі № 008 є встановлення взаємозв'язку його мікроструктури з гідравлічною активністю та основними будівельно-технічними властивостями цементів.

Петрографічний аналіз клінкерів, отриманих в лабораторних умовах із сировинних сумішей з тониною помелу 8, 10, 12, 14, 16, 18 та 20 мас. % залишку на контрольному ситі (СС-8, СС-10, СС-12, СС-14, СС-16, СС-18 та СС-20, відповідно) проводився в полірованих шліфах з використанням мікроскопів NU-2 та МИН-9 ( $\times 400$ ).

Структура клінкера, отриманого із сировинної суміші СС-8, характеризується чітко ограненими кристалами аліта (рисунок (а)), які кристалізуються у вигляді багатокутних (частіше шестикутних) кристалів. На поверхні шліфа їх розподіл досить рівномірний. Розміри кристалів аліта змінюються від 5 до 40 мкм із перевагою кристалів 25 – 30 мкм, що дозволяє віднести клінкер до мілкокристалічного. Зерна беліта мають неправильну форму, переважно округлу й овальну. Вони розміщуються переважно навколо кристалів аліта, у вигляді одиночних моновітних зерен, з розмірами в кілька разів меншими зерен аліта. Також спостерігаються незначні включення беліта в алітову фазу. Подібне явище характерне для клінкерів, отриманих на запісоченій сировині. Проміжна речовина має різну відбивну здатність, що говорить про її двофазність.

Клінкери, отримані на базі сировинних сумішей СС-10 і СС-12 характеризуються чіткою кристалізацією алітової складової (рисунок (б, в)), хоча в достатній мірі спостерігається й неправильна форма шестикутників в аліту. Розміри таких кристалів від 15 до 50 мкм із перевагою кристалів з розмірами 25 – 30 мкм. Беліт має ту ж структуру і розміщення, що і клінкер із СС-8. Характер розміщення кристалів двоякий. Спостерігаються як великі поля з рівномірним розміщенням мінералів, так і ділянки з нерівномірно-зернистим розміщенням.

Проміжна речовина – двофазна – світла фаза, характерна для алюмоферитів кальцію, і речовина з меншою відбивною здатністю у вигляді невеликих призм, розміри яких складають у середньому  $1/20$  –  $1/50$  від розміру зерна аліту. Зазначені ознаки характерні трикальцієвому алюмінату.

Зі зменшенням дисперсності сировинної суміші до 14 – 16 мас. % структура клінкеру (рисунок (г, д)) має більш нерівномірний розподіл мінералів по поверхні шліфа. Поля аліту займають значні площі. Його кристали мають чітке огранювання, однак це переважно неправильні зерна з чітко вираженими темними вкрапленнями белітової фази. Величина кристалів аліту змінюється від 10 до 80 мкм із переважними розмірами 30 – 50 мкм. Навколо зерен аліту спостерігаються дрібні зерна беліту.

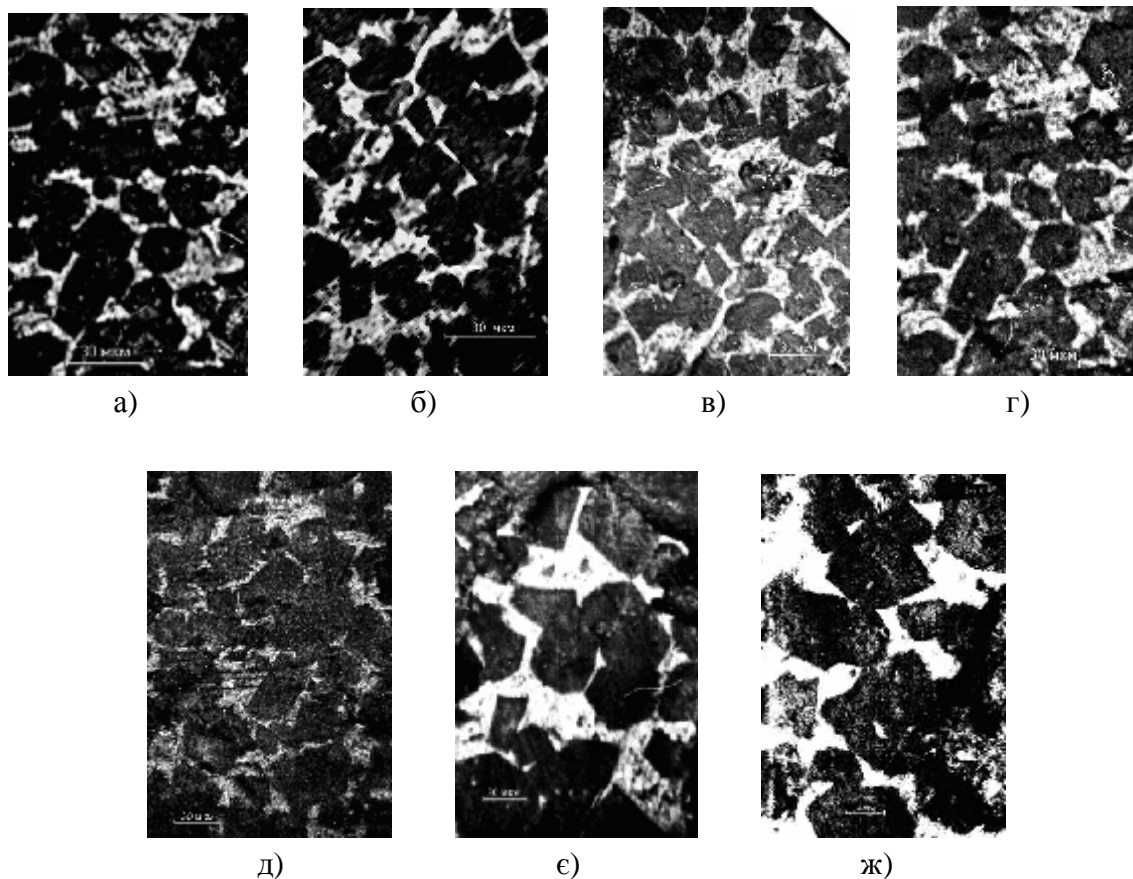


Рисунок – Структура портландцементного синтезованого клінкеру:

- а) клінкер з СС-8 (мілнокристалічна структура);
- б) те ж з СС-10 (мілнокристалічна структура);
- в) те ж з СС-12 (мілнокристалічна структура);
- г) те ж з СС-14 (середньокристалічна структура);
- д) те ж з СС-16 (середньокристалічна структура);
- е) те ж з СС-18 (крупнокристалічна структура);
- ж) те ж з СС-20 (крупнокристалічна структура)

Необхідно відзначити, що вся поверхня описаних вище клінкерів пронизана досить великими порами, розмір яких знаходиться в межах від 30 до 100 мкм.

Клінкер, випалений із сировинних сумішей з дисперсністю 18 і 20 мас. % (рисунок (е, ж)) має нерівномірно-зернисту структуру. Аліт переважно крупнокристалічний (з розмірами до 90 – 100 мкм) неправильної форми, однак чіткість граней його кристалів зберігається. Більшість кристалів зросли зі скошеними кінцевими гранями. Беліт представлений різноманітними кристалами як у вигляді округлих зерен з розмірами 15 – 30 мкм, так і у вигляді зерен, у яких немає плавних контурів. Поверхня деяких кристалів на

площині шліфа має зазубрені краї, що представляє не що інше, як кінцеві грані складносдвійникованих пластинок. Проміжна речовина двофазна, її відбивна здатність мало відрізняється від такої для вищерозглянутих клінкерів. Наявність у полірованому шліфі каплеподібних темних зерен незв'язаного вапна, а також кристалів периклазу петрографічно не виявлено.

З метою вивчення впливу дисперсності сировинної муки при випалі клінкеру на ступінь гідратації отриманих цементів продукти їх гідратації після 7 діб твердіння були піддані рентгенофазовому аналізу. Аналізуючи дифрактограми гідратованих зразків необхідно відмітити незначну різницю в інтенсивності піків в ряду цементів, отриманих із сировинних сумішей із дисперсністю від 8 до 20 мас. %. При порівнянні дифрактограм зразків синтезованих клінкерів із сировинних сумішей з різним залишком на контрольному ситі встановлено, що в гідратованих зразках в 7-ми добовому віці відсутні дифракційні максимуми характерні алітовій фазі, а практична рівна кількість  $\text{Ca(OH)}_2$ , що утворився під час гідратації свідчить про незалежність гідратаційної активності клінкерів від дисперсності сировинної суміші.

Дослідження впливу дисперсності сировинної муки на гідравлічну активність синтезованих клінкерів проводилось шляхом розмелу їх разом з гіпсовим камінням до повного проходу одержуваного цементу через сито № 008. Фізико-механічні дослідження проводили в малих зразках с розмірами  $(1,41 \times 1,41 \times 1,41) \cdot 10^{-2}$  м, виготовлених з тіста нормальної густини. В якості об'єкту порівняння був використаний промисловий клінкер обертових печей ВАТ "Кривий Ріг Цемент", (м. Дніпродзержинськ), підготовлений до випробувань вищевказаним способом. Слід зазначити, що відповідно до технологічного регламенту виробництва цементу на зазначеному підприємстві, тонина помелу сировинної муки не повинна перевищувати 12 мас. % залишку на ситі № 008.

Основні фізико-механічні властивості досліджуваних цементів наведені в таблиці.

Аналіз отриманих результатів показує, що загрублення сировинної муки до 20 мас. % практично не впливає на нормальну густоту і терміни тужавіння цементного тіста. Гідравлічна активність цементів в усі терміни твердіння (2, 7, 14 і 28 діб) була близька. Необхідно, звичайно, відзначити зменшення міцності зразків на 11 – 18 % із сировинної муки з дисперсністю 18 мас. % у порівнянні зі зразками, приготовленими із сировинної муки з дисперсністю 8 мас. % у марочному віці.

Виняток склав лише цемент, отриманий із сировинної муки з дисперсністю 20 мас. %, що має досить низькі показники міцності при твердінні (зменшення міцності на 38 – 50 %).

Таблиця

Фізико-механічні властивості цементів

№ проби	Дисперсність вихідної суміші, мас. %	Нормальна густина, %	Строки тужавіння, хв		Міцність при стиску, МПа, у віці, діб			
			початок	кінець	2	7	14	28
1	8,2	27,0	70	300	45	75	94	108
2	10,3	27,0	70	320	42	84	86	108
3	11,9	28,0	70	360	37	87	81	109
4	14,1	28,0	60	290	38	77	80	96
5	15,8	27,0	70	310	32	78	78	97
6	18,3	28,0	60	270	32	75	70	77
7	20,4	26,0	60	350	28	62	59	75
8	Промисловий клінкер ( $R_{c/c}^{008} = 10,6 - 11,7$ мас. %)	28,0	60	300	42	89	94	110

Таким чином, проведені дослідження довели, що характер кристалізації клінкерних мінералів, їх розміри та взаємне розміщення, а також гідравлічна активність синтезованих клінкерів практично не залежать від дисперсності муки у вибраному діапазоні її зміни. За основними будівельно-технічними властивостями отриманий клінкер не поступається такому отриманому шляхом випалу сировинних сумішей, дисперсність яких відповідає вимогам діючого технологічного регламенту виробництва.

**Список літератури:** 1. Кулік В.О., Салей А.А., Шевченко О.Ф., Сігунов О.О. Фізико-хімічні аспекти отримання клінкеру із грубодисперсної сировинної суміші, яка містить домений гранульований шлак // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2007. – № 27. – С. 7 – 14. 2. В.О. Кулік, А.А. Салей, О.Ф. Шевченко, Т.В. Кравченко, О.О. Сігунов Дослідження кінетики мінералоутворення при випалі сировинних сумішей з різною дисперсністю // Вопр. химии и хим. технологии. – Днепропетровск: Новая ідеологія, 2007. – № 6. – С. 63 – 68.

Надійшла до редколегії 9.04.08